**Journal of Water and Soil**
https://jsw.um.ac.ir



**Research Article**
**Vol. 37, No. 1, Mar.-Apr. 2023, p. 63-75**

# Effects of Spent Mushroom Substrates and Alfalfa Green Manure on Selected Fertility Indicators of Soil Quality and Spinach's Nutrients

**T. Gheitasi Ranjbar[1], M. Nael[2*]**

Received: 30-10-2022
Revised: 23-12-2022
Accepted: 28-12-2022
Available Online: 28-12-2022

**How to cite this article:**
Gheitasi Ranjbar, T., & Nael, M. (2023). Effects of Spent Mushroom Substrates and Alfalfa Green Manure on Selected Fertility Indicators of Soil Quality and Spinach's Nutrients. *Journal of Water and Soil 37*(1): 63-75. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2022.79340.1217


## Introduction

Conventional cropping systems, dependent on heavy application of chemical fertilizers, are not ecologically and environmentally sustainable; they are a threat for soil and water quality and, in consequence, for plant and human health. Nitrogen fertilizers are heavily applied in conventional leaf vegetable production systems to obtain maximum growth and yield. However, the excess nitrogen tends to accumulate in leaf vegetables in the form of nitrate, which pose serious human health hazards. Therefore, to supply nitrogen from non-chemical sources, such as organic amendments, is a sustainable practice for production of leaf vegetables. Spent mushroom substrate (SMS), which is the remaining material after the harvest of mushroom, is produced in large quantities (5 kg SMS for 1 kg of mushroom) and is enriched with organic carbon, N, P, K, and micronutrients. Therefore its reuse as a soil amendment not only provides essential elements for plants but also improves soil quality. Similarly, incorporation of green manures, especially legume green manures, into cropping systems is a sustainable practice for soil fertility and soil quality management. In this study, we aimed to investigate the short-term effects of two soil organic amendments (spent mushroom substrate and alfalfa residues) and their combination, in comparison to inorganic N fertilizer (urea), on soil fertility, and selected essential nutrients, and nitrate accumulation in a leaf vegetable, test plant (spinach).

## Materials and Method

A one-season pot experiment was led in a randomized complete block design with three replications in experimental greenhouse of Bu-Ali Sina University. Treatments were comprised of two levels of spent mushroom substrate (SMS-1: 2% SMS, and SMS-2: 5% SMS), two levels of alfalfa green manure (AGM-1: 1% AGM, and AGM-2: 3% AGM); two levels of the mixture of SMS and AGM (SMS+AGM-1: 1% SMS plus 0.5% AGM; and SMS+AGM-2: 2.5% SMS plus 1.5% AGM); two levels of urea fertilizer (U-1; 120 kg/ha, and U-2: 360 kg/ ha); and control. Selected properties of the initial soil and both organic amendments were determined. Spinach (*Spinacea oleracea L.)* was seeded as leaf vegetable, test plant in early autumn 2017. After ten weeks, spinach were harvested and the aboveground and root dry weights were determined. Moreover, the content of $NO3^-$, P, Fe, Cu, Zn, and Mn in edible parts were measured. Soil samples were analyzed for EC, pH, total organic carbon, available P and K, and alkaline phosphatase activity.

## Results and Discussion

All soil quality indicators were significantly affected by the treatments. TOC was significantly increased in all of the organic treatments compared to the chemical and control treatments. The maximum increase in TOC was observed in SMS-2, SMS+AGM-2, and AGM-2 treatments, compared to the control (134, 130 and 107%, respectively). A decreasing trend in TOC was detected in the high level of urea treatment (U-2) compared to the control which can be explained by the faster decomposition of soil organic matter in the presence of higher


---

1 and 2- Ph.D. Student in Soil Science and Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.nael@basu.ac.ir)

inorganic N inputs. Both organic amendments (in both levels) and the higher level of urea (U-2) decreased soil pH compared to the control. The initial low pH of SMS (5.6) and AGM (6.2), in the first case, and oxidation of urea to nitrate, in the latter, may justify this observation. In contrast, soil EC increased under the both organic amendments relative to the control and U-1 treatments. Moreover, the adverse effect of SMS on soil salinity was greater than AGM due to the initial differences in their corresponding source materials (5.8 vs. 3.0 ds/m). Available K was significantly increased in the second level of all organic treatments compared to the chemical and control treatments. As for available P, all organic treatments, except AGM-1, led to the significantly higher P than the chemical and control treatments. It is reported that organic materials compete with mineral particles for P adsorption and increase its availability. Moreover, all organic treatments, except SMS-1, significantly increased phosphatase activity compared to the chemical and control treatments. This could contribute to the mineralization of organic materials and increase available P.

Spinach yield was affected by the experimental treatments. The highest increase in shoot dry weight occurred in SMS+AGM-2 and AGM-2 treatments by 235 and 230%, respectively, compared to the control. Moreover, the second level of all organic treatments as well as the first level of SMS plus AGM treatment significantly increased yield compared to the chemical treatments. Spinach P content was significantly higher in all organic treatments, except SMS-1 and AGM-1, compared to the chemical and control treatments. Organic amendments, by decreasing the surface adsorption of P and increasing soil microbial biomass, promote the availability of P for plants. Spinach nitrate content ranged from 265 (in control) to 7807 mg/kg (in U-2). According to the critical limit of nitrate in spinach (4000 mg/kg) presented by European Union, only U-2 treatment led to over-accumulation of $NO3^-$. The two levels of AGM treatments and SMS+AGM-2 resulted in the comparable amounts of nitrate as the recommended amount of urea (U-1). A narrow variation in spinach Cu content (from 6.1 in SMS+AGM-2 to 9.8 mg/kg in AGM-2), all within the standard range reported for plants (5-20 mg/kg), was observed among the treatments. Spinach Fe content was increased under all organic treatments relative to the control, although some disparities were not significant. The lowest Fe was detected in U-2. It is reported that excessive N may diminish root growth and, in turn, reduce nutrient uptake. Spinach Zn content varied from 44.8 (in control) to 71.5 mg/kg (in SMS-2), which was close to the higher limit of standard range (20-50 mg/kg) reported for vegetables, but lower than toxic concentration range (200-400 mg/kg). Spinach Mn content varied from 17.4 (in control) to 32.1 mg/kg (in SMS-2), which was close to the lower limit of the standard range (40-400 mg/kg) reported for plants.

## Conclusion

The most appropriate treatments in view of improving yield and soil quality (i.e., optimum TOC, P, and K; and lower EC) as well as tolerable nitrate accumulation were SMA+AGM-1 and SMS-1 in decreasing order. These treatments are preferred over the chemical treatments (U-1 and U-2).

**Keywords:** Micronutrients, Nitrate accumulation, Organic amendment, Soil quality, Sustainable agriculture

**نشریه آب و خاک**

https://jsw.um.ac.ir

**مقاله پژوهشی**

**جلد ۳۷، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۷۵-۶۳**

# تاثیر کاربرد پسماند بستر کشت قارچ و کود سبز یونجه بر برخی شناسه‌های حاصلخیزی کیفیت خاک و عناصر مغذی در اسفناج

**تهمینه قیطاسی رنجبر[۱]- محسن نائل[۲*]**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷

## چکیده

به منظور بهبود کمّیت و کیفیت محصول و ارتقاء کیفیت خاک، استفاده بهینه از بهسازهای آلی یک ضرورت است. در مطالعه حاضر، اثر دو بهساز آلی، در مقایسه با کود شیمیایی اوره، بر برخی شناسه‌های کیفیت خاک، هم چنین عملکرد و برخی عناصر غذایی گیاه اسفناج برر سی شد. آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل کود سبز یونجه[۳] (AGM) در دو سطح ۱ و ۳ درصد، پسماند بستر کشت قارچ[۴] (SMS) در دو سطح ۲ و ۵ درصد، کود اوره (U) در دو سطح ۱۲۰ و۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار، ترکیب AGM و SMS (SA) در دو سطح ۱/۵ درصد (به ترتیب ۰/۵ و ۱ درصد) و ۴ درصد (به ترتیب ۱/۵ و ۲/۵ درصد)، و شاهد بود. نتایج نشان داد کربن آلی خاک، هدایت الکتریکی، پی‌اچ، فعالیت آنزیم فسفاتاز، پتاسیم و فسفر فراهم تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند. تمام تیمارهای پسماند بستر قارچ، کود سبز یونجه و ترکیبی موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی شدند. تیمار SMS-2 بیشترین افزایش EC را نسبت به تیمارهای شاهد و U-1 (به ترتیب، با ۵۵۲ و۵۲۰ درصد افزایش) داشت. کود سبز یونجه نیز موجب افزایش EC خاک نسبت به شاهد شد، با این‌حال اثر منفی این بهساز آلی بر شوری خاک کم‌تر از SMS بود. از طرفی، در تیمارهای U-2؛ AGM-2؛ SMS-2، SMS-1؛ SA-2 و SA-1 بیشترین کاهش پی‌اچ نسبت به تیمار شاهد دیده شد. کاهش پی‌اچ در تیمارهای حاوی بهسازهای آلی به دلیل پی‌اچ اسیدی اولیه آنها بود. بیشترین محتوای پتاسیم و فسفر فراهم، و فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمار SMS-2 مشاهده شد. عملکرد گیاه و غلظت نیترات، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. تیمارهای بهسازهای آلی (AGM-1، AGM-2؛ SMS-2؛ AS-1 و AS-2) توانستند نیاز کودی گیاه اسفناج را برطرف کنند و عملکرد گیاه را نسبت به دو تیمار کود اوره افزایش دهند. بیشترین غلظت نیترات گیاه در تیمار کود شیمیایی U-2 دیده شد که از حد مجاز فراتر بود. غلظت فسفر گیاه در تیمارهای SMS-2، AGM-2 و دو تیمار ترکیبی به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کود شیمیایی بود. بیشترین مقدار آهن در گیاه در هر دو سطح پسماند بستر قارچ و تیمار کود سبز یونجه، و کمترین آن در تیمار U-2 مشاهده شد. هر دو بهساز آلی باعث افزایش معنی‌دار منگنز گیاه نسبت به دو تیمار کود شیمیایی شدند. با این حال، تنها تیمار پسماند بستر قارچ (SMS-2) توانست غلظت روی در گیاه را به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای کودی افزایش دهد. با توجه به اینکه سطوح بالای تیمارهای کود سبز یونجه و تیمار ترکیبی، علی‌رغم افزایش عملکرد گیاه و ارتقاء کیفیت خاک، موجب تجمع نیترات در مرز بحرانی، در گیاه اسفناج شدند، و از طرف دیگر استفاده مداوم از سطح بالای کمپوست بستر قارچ خطر شور شدن خاک را به همراه دارد، تیمار ترکیبی SA-1 ، و پس از آن تیمار پسماند بستر قارچ SMS-1 به عنوان مناسب‌ترین تیمارها از نظر بهبود کیفیت خاک و بهبود عملکرد و کیفیت اسفناج شناخته شد.

**واژه‌های کلیدی:** بهساز آلی، تجمع نیترات، کشاورزی پایدار، کیفیت خاک، عناصر کم‌مصرف

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: m.nael@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.2022.79340.1217

3- Alfalfa green manure

4- Spent mushroom substrates

## مقدمه

نظام‌های کشت متکی بر مقادیر بالای نهاده‌های شیمیایی نه تنها تهدیدکننده سلامت خاک، گیاه و انسان هستند، بلکه ناپایداری اقتصادی بخش کشاورزی را نیز در پی دارد. نیاز به نیتروژن در نظام‌های کشت سبزیجات یکی از موضوعات مهم در رابطه با کوددهی سبزی ها به ویژه سبزی های برگی می باشد، زیرا تولیدکنندگان برای افزایش رشد و عملکرد تمایل به مصرف زیاد انواع کودهای حاوی نیتروژن دارند. با این حال، از نظر سلامتیِ مصرف‌کنندگان، غلظت کم ترکیبات مضر نیتروژن‌دار مانند نیترات در سبزی‌ها مطلوب است. در برگ‌های گیاه اسفناج احتمال تجمع زیاد نیترات و اگزالات وجود دارد و میزان تجمع آن ها در اندام هوایی از شاخص‌های تعیین کننده کیفیت اسفناج می‌باشد (Jaworska, 2005). گیاه اسفناج به خوبی به مصرف کودهای حاوی نیتروژن پاسخ می‌دهد و افزایش کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن به طور واضحی سبب افزایش نیترات در بخش هوایی اسفناج می‌گردد (Wang *et al.*, 2009). علاوه بر این، استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی بدون ورود مواد آلی کافی، یکی از عوامل اصلی کاهش مواد آلی خاک، تخریب ساختمان خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و در نتیجه کاهش باروری خاک شناخته شده است (Zhong and Cai, 2007). از طرف دیگر، کاهش ورودی های کود نیتروژنی می‌توانند فعالیت باکتری های نیتروژن‌زا را افزایش داده و در نتیجه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را برای اکوسیستم‌های زراعی سبب شود. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2009) گزارش دادند که استفاده از بهسازهای آلی همراه با کاهش کود شیمیایی باعث افزایش زیست‌توده و فعالیت میکروبی شد و در دسترس بودن مواد مغذی را در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی افزایش داد.

تبدیل ضایعات و پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی به بهسازهای آلی و استفاده مجدد از آن‌ها در کشاورزی یک عملیات پایدار و هماهنگ با قانون بازگردش طبیعی مواد در اکوسیستم است. تولید قارچ خوراکی در سرا سر جهان گسترده و رایج است. ضایعات تولید قارچ خوراکی به عنوان پسماند بستر کشت قارچ (SMS) شناخته می شود. تقریباً به ازای تولید یک کیلوگرم قارچ خوراکی، پنج کیلوگرم SMS تولید می شود (Medina *et al*, 2012). تولید قارچ در ایران در حال افزایش است، به طوری‌که میزان تولید قارچ از ۷۷۴۴۴ تن در سال ۲۰۱۷ به ۱۰۵۲۳۲ تن در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است (FAO, 2021). بنابراین می‌توان تخمین زد که سالانه ۵۲۶۱۶۰ تن SMS در ایران تولید می‌شود. قارچ خوراکی در لایه های مختلف لیگنوسلولزی مانند کاه گندم، خاک اره، یا ضایعات پنبه کشت می‌شود. به همین ترتیب، SMS به دلیل قابلیت هوادهی مطلوب و نفوذپذیری بالا می‌تواند بهساز مناسبی برای خاک باشد. روش‌های مختلفی برای حذف این پسماندها، از جمله احتراق، دفن زباله، استفاده از آن برای اصلاح آب و خاک، محیط رشد بدون خاک و استفاده مجدد در تولید قارچ خوراکی وجود دارد. محققان دریافتند که SMS برای محصولات با دوره رشد طولانی کارایی بیشتری دارد، زیرا SMS معمولاً برای معدنی شدن به مدت زمان طولانی نیاز دارد (Zanella *et al*., 2018). استفاده از SMS در کشت کاهو و تره اثرات مثبتی بر عملکرد این گیاهان داشته و عملکرد مشابه کودهای معدنی را نشان داده است (Zanella *et al*., 2018). مطالعات نشان می‌دهد محتوای نیترات سبزیجات در حضور SMS کمتر از حد مجاز و همچنین کمتر از سبزیجات کشت شده با کود شیمیایی بود (Gobbi *et al* , 2018). با این حال، استفاده بلافاصله از بستر قارچ مصرفی به دلیل شوری بالا توصیه نمی‌شود. هنگامی که SMS به درستی و مناسب استفاده شود، بستر مناسبی برای بهبود سلامت خاک و رشد گیاه خواهد بود. آزمایشات نشان داده است که SMS منبع بسیار خوبی از فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف است (Cabilovski *et al*., 2014).

به‌علاوه، کشت محصولات پوششی و کود سبز نیز می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد. اختلاط مواد گیاهی با خاک برای حفظ یا بهبود باروری خاک برای محصول بعدی به عنوان کود سبز شناخته می شود . اگر چه استفاده از مواد آلی به عنوان منبع نیتروژن در کشاورزی به اندازه کافی با نیازهای گیاهان همپوشانی ندارد، اما بسیاری از محققان بر نقش مواد آلی در افزایش کارایی استفاده از نیتروژن تأکید کرده‌اند (Dobermann *et al*., 2003). تجزیه میکروبی کود سبز باعث آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاهان و افزایش کربن و مواد آلی، نیتروژن کل و حاصلخیزی خاک می شود (Talgre *et al*., 2009). ماتوس و همکاران (Matos *et al*., 2008) در مطالعات خود نشان دادند که با استفاده از کودهای سبز لگوم، مقدار عناصر غذایی خاک و نیتروژن معدنی خاک افزایش یافته است. کود سبز در کشور ما فقط در برخی مناطق و به میزان محدود استفاده می‌شود (Mohammadi, *et al*., 2015). گران بودن کود دامی و عدم استفاده صحیح از آن، نقش اندک کودهای آلی را در افزایش باروری و بهبود خاک در ایران رقم زده است (Mohammadi, *et al*., 2015). دبیاقی و همکاران (Dabighi *et al*., 2017) نشان دادند افزودن کود سبز (ارزن، جو، ماش) به خاک سبب افزایش عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم و ازت) و کاهش علف هرز در خاک می‌شود.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف پسماند بستر قارچ، کود سبز یونجه و ترکیب آنها، به عنوان دو بهساز آلی و جایگزین برای کود شیمیایی اوره، بر برخی شاخص‌های حاصلخیزی کیفیت خاک، عملکرد و کیفیت گیاه محک (اسفناج) انجام گردید. با توجه به اینکه شایع‌ترین مدیریت عناصر مغذی در زمین‌های تحت

کشت سبزیجات در شهرستان همدان استفاده از کودهای شیمیایی، به ویژه اوره، در مقادیر بسیار بالاتر از مقدار توصیه شده می‌با شد، اثرات دو سطح مختلف کود اوره (مقدار توصیه شده بر اساس نتایج تجزیه خاک و میانگین مقدار مورد استفاده کشاورزان در منطقه) مورد بررسی قرار گرفت. به‌علاوه، از آنجایی که گیاه اسفناج به مقادیر بالای نیتروژن خاک پاسخ داده و یک گیاه بیش‌انباشتگر برای نیترات بحساب می‌آید، میزان تجمع نیترات در این گیاه تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### تیمارهای آزمایشی

این پژوهش به صورت گلدانی و در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. نمونه خاک از زمینی واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان با مختصات جغرافیایی (″۹۲ ′۸۷ °۳۴ عرض شمالی و ″۷۱ ′۵۳ °۴۸ طول شرقی)، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۳/۳۶ میلی‌متر گذرانده شد. بافت خاک (Gee and Bauder, 1986)، گنجایش تبادل کاتیونی (Bower *et al*., 1952) و کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر (Walkley and Black, 1934) برای نمونه خاک اولیه اندازه‌گیری شد. همچنین هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک اولیه با نسبت ۱:۵ خاک به آب، به کمک دستگاه هدایت سنج الکتریکی (مدل ۷۱۲ش) و دستگاه پی‌اچ متر (مدل ۸۲۷) اندازه گیری شد. پسماند بستر قارچ از شرکت کوهستان الوند واقع در شهرک صنعتی همدان تهیه شد. برای تهیه این بستر قارچ از مواد اولیه‌ای شامل: کاه گندم، سنگ گچ و کود مرغی استفاده شده بود. این ترکیب پس از استفاده به عنوان بستر پرورش قارچ و پاستوریزه شدن، به مدت یک سال در فضای آزاد رها شده بود. پسماند بستر قارچ از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. از آن جایی که امکان کاشت یونجه به عنوان کود سبز لگوم و سپس کاشت گیاه اصلی در زمان کوتاه این پژوهش میسر نبود، از یونجه خشک تازه برداشت شده، استفاده شد. یونجه تازه از مزرعه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد تهیه شد و پس از سایه خشک شدن توسط خرمن‌کوب در ابعاد ۱±۳ سانتی‌متر خرد شد. هدایت الکتریکی و اسیدیته پسماند بستر قارچ و یونجه با نسبت ۱:۲۰ با آب مقطر، به کمک دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (مدل ۷۱۲ش) و دستگاه پی‌اچ متر (مدل ۸۲۷) اندازه‌گیری شد. میزان خاکستر پسماند بستر قارچ و یونجه در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت تعیین گردید. کربن آلی به روش اکسایش‌تر (Walkley and Black, 1934) برای بستر قارچ و یونجه اندازه‌گیری شد. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل کود سبز یونجه در دو سطح (۱ و ۳ درصد)، بستر قارچ باقیمانده در دو سطح (۲ و ۵ درصد)، کود اوره در دو سطح (۱۲۰ و ۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار)، ترکیب کود سبز یونجه و بستر قارچ باقیمانده در دو سطح ۱/۵ درصد (۰/۵ درصد کود سبز یونجه و ۱ درصد بستر قارچ باقیمانده) و ۴ درصد (۱/۵ درصد کود سبز یونجه و ۲/۵ در صد بستر قارچ باقیمانده)، و تیمار شاهد بود. برخی از ویژگی‌های خاک و بهسازهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

### مراحل کاشت، داشت و برداشت گیاه

در این پژوهش گیاه اسفناج به عنوان گیاه محک انتخاب شد. برای کشت گیاه، گلدان‌هایی با بلندی ۲۵ و پهنای دهانه ۱۸ سانتی‌متر به کار گرفته شد. به طور متوسط داخل هرگلدان ۰/۲۵± ۳/۲۵ کیلوگرم خاک تیمار شده ریخته شد. تعداد ده عدد بذر اسفناج رقم ماتادور (*Spinacea oleracea* L.) در عمق حدود یک سانتی‌متری در هر گلدان کاشته شد و پس از جوانه‌زنی، نهایتاً تعداد اسفناج‌ها در هر گلدان به سه عدد کاهش یافت. لازم به ذکر است هر دو سطح تیمار کود شیمیایی اوره (۱۲۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) طی سه مرحله به خاک افزوده شد. به این ترتیب که در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار، در هر مرحله ۴۰ کیلوگرم در هکتار و در تیمار ۳۶۰ کیلوگرم بر هکتار، در مرحله اول ۴۰ کیلوگرم در هکتار و در مراحل دوم و سوم به طور یکسان ۱۶۰کیلوگرم در هکتار کود اوره اضافه شد. نوبت اول کوددهی همزمان با کشت، نوبت دوم در مرحله سه برگی شدن گیاه اسفناج و نوبت سوم یک هفته پس از سه برگی شدن به خاک افزوده شد. آبیاری گلدان‌ها با آب شرب و تا رسیدن به حدود رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد. پس از گذشت ده هفته، قسمت هوایی (برگ و ساقه) و ریشه گیاهان برداشت شد.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک

خاک گلدان‌ها پس از برداشت گیاه و جداسازی ریشه‌ها، در معرض هوا خشک شد و پس از کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تجزیه آزمایشگاهی آماده گردید. هدایت الکتریکی و اسیدیته برای تیمارها به ترتیب، با نسبت ۱:۵ و ۱:۲۰ خاک به آب، به کمک دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (مدل ۷۱۲ش) و دستگاه پی‌اچ متر (مدل ۸۲۷) اندازه‌گیری شد. پتاسیم فراهم نمونه‌های خاک به روش استات آمونیوم یک نرمال اندازه‌گیری شد (Helmke and Sparks, 1996). فسفر در نمونه‌ها به روش السن و با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم، در پی اچ برابر ۸/۵ اندازه‌گیری شد (Olsen, 1954). کربن آلی خاک به روش اکسایش تر اندازه‌گیری شد (Walkley and Black, 1934). همچنین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (Thomas, 1996) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی وشیمیایی اولیه خاک، پسماند بستر قارچ و کود سبز یونجه مورد مطالعه

Table 1- Initial physico-chemical characteristics of the soil, spent mushroom substrates (SMS) and alfalfa green manure

| ویژگی (Property) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | pH | EC (dS/m) | OC (%) | CEC ($cmol_c$/kg) | Ash (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک Soil | 61 | 23 | 16 | 7.6 | 0.2 | 1.34 | 10.3 | _ |
| پسماند بستر قارچ Spent mushroom substrates | _ | _ | _ | 5.6 | 5.8 | 29.7 | _ | 64.3 |
| کود سبز یونجه Alfalfa green manure | _ | _ | _ | 6.2 | 3.0 | 75.5 | _ | 11.5 |

### تجزیه‌های گیاهی

اندام هوایی گیاه و ریشه‌ها پس از برداشت و شستشو با آب مقطر، در آون و در دمای ۶۵ درجه سل سیوس به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شـــــــد. مقدار وزن خشـــک اندام هوایی و ریشـــه به طور جداگانه اندازه‌گیری شـد. نیترات گیاه به روش دی آزو برآورد شـد (Ysart *et al.*, 1999). مقدار کل عناصـــر مغذی (آهن، مس، روی و فســفر) در نمونه‌های گیاهی پس از هضـــم با روش بورا و همکاران (Bora *et al.*, 2015) توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

### تحلیل‌های آماری

این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای نرمال کردن داده‌ها، تحلیل آماری و ر سم نمودار از نرم‌افزار R و Excel اسـتفاده شـد. آزمون میانگین داده‌ها به روش دانکن و در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

**اثر تیمارها بر ویژگی‌های خاک:** نتایج تجزیه واریانس نشـــان داد کربن آلی خاک، هدایت الکتریکی، پی‌اچ، فعالیت آنزیم فســـفاتاز، پتاسیم و فسفر فراهم تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند.

### کربن آلی کل

نتیجه‌ی آزمون میانگین (جدول ۲) ن شان داد، به ترتیب تیمارهای پســـمـانـد بســـتر قـارچ (۵٪) (SMS-2) و تیمـار ترکیبی (۴٪) (AGM+SMS-2) بیش‌ترین تاثیر را در افزایش مقادیر کربن آلی (به ترتیب ۳/۰۹ و ۳/۰۳ درصـد) داشــتند. کم‌ترین مقدار کربن آلی در هر دو سطح تیمار کود اوره و شاهد دیده شد. تیمارهای پسماند بستر قارچ (SMS)، کود ســـبز یونجه (AGM) و ترکیبی (AGM+SMS) (هر سـه، در دو سـطح) موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نسـبت به شاهد و کود شیمیایی اوره (U) شده ا ست. به‌علاوه، سطح دوم این تیمارها نسـبت به سـطح اول افزایش بیش‌تری در محتوای کربن آلی ایجـاد کرد. این دور از انتظـار نبود چرا کـه محتوای کربن آلی در بهسازها (AGM و SMS به ترتیب ۷۵/۵ و ۲۹/۷ در صد) بالا بود. در مقابل، کود شـیمیایی اوره، بخصـوص در سـطح دوم (U-2)، موجب کاهش ماده آلی ن سبت به شاهد شد، با این حال این تفاوت معنی‌دار نبود. علت این م شاهده را می توان به تجزیه سریع‌تر ماده آلی موجود در خاک در حضور نیتروژن در د سترس ن سبت داد. در مطالعه‌ای تاثیر کاربرد م ستمر SMS به مدت ۱۰ سال در خاک‌های شالیزار بر کربن آلی خاک بررسـی شـد، نتایج نشـان داد که اسـتفاده از SMS باعث افزایش ۲۱ در صدی کربن آلی شد (Li *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای تاثیر دو نوع متفاوت از SMS در یک خاک تحت کشـــت با یک محصول صیفی (*Lactuca sativa* L. var. linus) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزودن SMS به خاک با گذشت زمان می‌تواند به افزایش ماده آلی کمک کند (Zanella *et al.*, 2018).

### پی‌اچ و هدایت اکتریکی

تیمار شاهد با میانگین ۷/۶۶٪، بیش‌ترین پی‌اچ را دا شت و با تیمار کود اوره (۱۲۰kg/ha) (U-1) با م یانگین ۷/۵۴ ت فاوت معنی‌داری نداشـت (جدول ۲). تیمارهای AGM+SMS (هر دو سـطح)، SMS (هر دو ســطح)، کود ســبز یونجه (۳٪) (AGM-2) و U-2 دارای کم‌ترین مقادیر پی‌اچ بوده و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند. کاهش پی‌اچ در تیمارهای حاوی به سازهای آلی را می‌توان به ماهیت این ا صلاح‌کننده‌ها مرتبط دان ست. این به سازها دارای پی‌اچ ا سیدی هستند (جدول ۱). هم‌چنین تغییر پی‌اچ خاک را می‌توان بدلیل افزایش ماده آلی خاک یا هوموس که حاوی گروه‌های کربوکســیل و فنول اســت و همانند یک اســید ضــعیف عمل کرده و یون هیدروژن آزاد می‌کنند، توجیه نمود. در مورد تیمار کود U-2 ، کاهش پی‌اچ می‌تواند به دلیل اک سیدا سیون میکروبی آمونیوم موجود در کود و تبدیل شدن آن به نیترات باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) برخی ویژگی‌های خاک تحت تاثیر تیمارها آزمایشی

Table 2- Mean comparison (± standard error) of selected characteristics of soil affected by the experimental treatments

| تیمارها Treatments | کربن آلی کل Total organic carbon (%) | پی‌اچ pH | هدایت اکتریکی EC (dS m$^{-1}$) | فسفر P (mg kg$^{-1}$) | فعالیت فسفاتاز Phosphatase activity (µg ρNP g$^{-1}$ h$^{-1}$) | پتاسیم K (mg kg$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Control | 1.32 e (±0.34) | 7.6 a (±0.02) | 0.19 f (±0.02) | 15.0 f (±0.64) | 73.9 d (±12.13) | 295.8 de (±15.23) |
| SMS-1 | 2.20 c (±0.02) | 7.1 c (±0.19) | 0.70 c (±0.06) | 25.8 c (±4.21) | 100.8 cd (±39.48) | 425.5 c (±25.09) |
| SMS-2 | 3.09 a (±0.11) | 6.9 c (±0.08) | 1.24 a (±0.03) | 45.7 a (±1.62) | 239.8 a (±44.21) | 824.4 a (±47.13) |
| AGM-1 | 1.86 d (±0.09) | 7.3 b (±0.12) | 0.25 f (±0.01) | 20.1 de (±3.95) | 146.8 bc (±8.11) | 395.6 cd (±35.02) |
| AGM-2 | 2.73 b (±0.10) | 6.9 c (±0.05) | 0.39 de (±0.01) | 24.8 cd (±1.06) | 169.1 b (±56.58) | 571.7 b (±32.05) |
| AGM+SMS-1 | 2.11 c (±0.10) | 7.1 c (±0.28) | 0.45 d (±0.02) | 22.4 cd (±2.82) | 139.1 bc (±38.84) | 385.6 cd (±109.85) |
| AGM+SMS-2 | 3.03a (±0.07) | 7.0 c (±0.05) | 0.90 b (±0.05) | 32.6 b (±3.24) | 181.1 ab (±41.40) | 601.7 b (±64.11) |
| U-1 | 1.44 e (±0.09) | 7.5 a (±0.01) | 0.20 f (±0.01) | 14.0 f (±2.13) | 68.5 d (±22.91) | 262.6 e (±51.17) |
| U-2 | 1.18 e (±0.05) | 6.8 c (±0.11) | 0.34 e (±0.00) | 15.7ef (±1.68) | 66.8 d (±18.09) | 335.7 cde (±81.22) |

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد. SMS: تیمار پسماند بستر قارچ در دو سطح ۲ و ۵ درصد؛ AGM: تیمار کود سبز یونجه در دو سطح ۱ و ۵ درصد؛ AGM+SMS ترکیب کود سبز یونجه و پسماند بستر قارچ در دو سطح ۱/۵ درصد (۰/۵ درصد کود سبز یونجه و ۱ درصد پسماند بستر قارچ) و ۴ درصد (۱/۵ درصد کود سبز یونجه و ۲/۵ درصد پسماند بستر قارچ)؛ U: تیمار کود شیمیایی اوره در دو سطح ۱۲۰ و ۳۶۰ کیلو گرم در هکتار؛ Control: شاهد

Similar letters in each column are not significantly different at the 1% probability level, using Duncan's Test. SMS: spent mushroom substrates treatment at two levels of 2 and 5%; AGM: alfalfa green manure treatment at two levels of 1 and 5%; AGM+SMS: combination of alfalfa green manure and spent mushroom substrates at two levels of 1.5% (0.5% alfalfa green manure and 1% spent mushroom substrates) and 4% (1.5% alfalfa green manure and 2.5% spent mushroom substrates) U: Urea chemical fertilizer treatment at two levels of 120 and 360 kg/ha; Control: benchmar

دامنه تغییرات پی‌اچ در این مطالعه ۶/۸ تا ۷/۶، و ضریب تغییرات آن در بین تیمارها ۱/۴ بدســت آمد. لازم به ذکر اســت، اگرچه مقدار پی‌اچ در بین برخی از تیمارها تفاوت‌های آماری نشــان می‌دهد، با این حال این تفاوت‌ها ممکن اســت اثرات قابل توجهی بر محیط خاک نداشــته باشــد. با این وجود، باید در نظر داشــت که کاربرد مســتمر بهسازهای مورد آزمون می‌تواند در بلندمدت به کاهش چشمگیر پی‌اچ خاک بیانجامد. در مطالعه‌ی لی و همکاران (Lee *et al*., 2010) نشان داده شد، استفاده از کود سبز می‌تواند چگالی ظاهری خاک و پی‌اچ را کاهش دهد و موجب افزایش ماده آلی و جمعیت میکروبی شود. بانیک و دی (Banik and Dey, 1982) نیز گزارش کردند که کمپوســت حاصل از ضایعات بستر قارچ باعث افزایش اسیدیتهٔ خاک‌های آهکی شده است. تیمار SMS-2 با ۱/۲۴ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین مقدار هدایت الکتریکی (EC) را نشان داد و کمترین مقدار را تیمارهای U-1 و شاهد (به ترتیب، ۰/۲۰ و ۰/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر) داشت (جدول ۲). مقدار بالای EC در تیمار های حاوی درصــد بالای SMS را می‌توان با ماهیت SMS مرتبط دانســت. SMS مورد اســتفاده در این تحقیق دارای EC به بزرگی ۵/۷۵ دســی‌زیمنس بر متر اســت (جدول ۱)، که خود می‌تواند زمینه‌ســاز شــوری در خاک باشــد. به طور معمول غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در SMS زیاد بوده و ســبب افــزایش EC آن مــی‌گــردد. EC در SMS بــه طــور معمــول بیشتر از خــاک است و به طور کلی بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر اســت (Vahabi *et al*., 2008). از این رو، این ویژگی SMS می‌توانــد مصرف زیاد و طولانی مدت ایــن ماده را محدود نماید، مگر اینکه قبل از مصرف به اندازه کافی آبشــویی شــود. AGM نیز همانند SMS موجب افزایش EC خاک نسبت به شاهد شد، با این‌حال اثر منفی این بهساز آلی بر شوری خاک کم‌تر از SMS است. EC اولیه کود سبز یونجه برابر ۳/۰ دســی‌زیمنس بر متر اســت که می‌تواند به دلیل مقدار بالای کاتیون و آنیون) در کود سبز یونجه باشد. تیمار کود U-2 همانند AGM باعث افزایش EC خاک شده است که آن هم به خاطر عناصر معدنی موجود در کود اوره اســت. هربج و دیواســناپاسی (Deshpande and Devasenapathy, 2010) در بررسی تأثیر کود سبز و منابع مختلف آلی (کود مرغی و ورمی‌کمپوســت) بر عملکرد برنج (*Oryza sativa*

.L) و خواص شـیمیایی خاک نشـان دادند، EC بعد از اضـافه کردن کود سـبز در مرحله پنجه‌زنی گیاه افزایش یافته اسـت. اما پس از این مرحله، EC در خاک کاهش یافت.

## پتاسیم و فسفر فراهم و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی

تیمار SMS-2 با میانگین ۸۲۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین مقدار پتاسیم را دارا بود (جدول ۲). پتاسیم در تیمار AGM+SMS-2 و تیمار AGM-2 (به ترتیب ۶۰۱/۷ و ۵۷۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. به‌علاوه، تیمارهای SMS-1، AGM-1، AGM+SMS-1 و تیمار کود U-2 (به ترتیب ۴۲۵/۵، ۳۹۵/۶، ۳۸۵/۶ و ۳۳۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در یک گروه آماری قرار گرفتند. هم چنین تیمارهای U-1، U-2 و شاهد و کود U-1 (به ترتیب ۲۶۲/۶، ۳۸۵/۶ و ۲۹۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از نظر آماری تفاوتی معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. نتایج نشـان داد، محتوای پتاسـیم در تیمارهایی که حاوی بهساز آلی هستند بالاتر است. جلالی (Jalali, 2013) یکی از راه‌های افزایش پتاسیم خاک را افزودن بقایای گیاهی و آلی دانسته و اشاره کرد، به دلیل حلالیت بالای یون‌های این عنصر، پتاسیم به راحتی از بافت‌های گیاهی مرده آبشویی می‌گردند و سبب افزایش پتاسـیم خاک می‌شـود. همچنین مواد آلی می‌توانند به عنوان منبعی از مکان‌های تبادل کاتیونی در خاک، یون‌های پتاسـیم را جذب نموده و مانع آبشـویی این کاتیون از خاک شـوند. وهابی و همکاران (Vahabi *et al.*, 2011) تاثیر SMS را بر خصوصیات یک خاک لوم شنی بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از این بهساز آلی موجب افزایش سـدیم، پتاسـیم و منیزیم خاک شـده اسـت. جلالی (Jalali, 2011) با بررسـی اثر اضـافه کردن بقایای آلی به خاک‌های آهکی بر پتاسیم قابل تبادل نشان داد، در کلیه تیمارهای کود آلی (آفتابگردان، سیب زمینی، علف‌های هرز، بقایای میوه، بقایای سبزیجات، کلزا، کود مرغی، کود دامی، برگ درختان) محتوای پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم به طور معنی‌داری افزایش یافته است.

تیمار SMS-2 با میانگین ۴۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار فسـفر در خاک را دارا بود. پس از آن، تیمار AGM+SMS-2 با میانگین ۳۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشـت (جدول ۲). تیمارهای SMS-2، AGM-2 و AGM+SMS-1 به ترتیب با میانگین های ۲۵/۹، ۲۴/۸ و ۲۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و همگی در یک گروه آماری جای گرفتند. تیمار AGM-1، با میـانگین ۲۰/۱ میلی‌گرم برکیلوگرم، تفـاوت معنی‌داری بـا تیمـار AGM+SMS-1 و تیمـار کود U-2، بـا میـانگین ۱۵/۷ میلی‌گرم برکیلوگرم، نداشت. سه تیمار کود U-2 (۱۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، U-1 (۱۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شـــاهـد (۱۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در یک گروه آماری قرار گرفتند. در تیمارهایی که بهسازهای آلی، به خصوص SMS استفاده شد، فسفر خاک افزایش چشم‌گیری نشان داد. آیموریمی و همکاران (Iyamuremye *et al.*, 1996) بیان کردند اجزای مادهٔ آلی اضافه شده به خاک با فسفر برای مکان‌های جذب رقابت می‌کند؛ در نتیجه فراهمی فســفر در خاک را افزایش می‌دهد. یافته های پژوهش حاضـــر با نتایج گردلیدانی (Fathi Gerdelidani *et al.*, 2016) که نشان داد کاربرد پسماند بستر قارچ در خاک‌های آهکی سبب افزایش فراهمی فسفر شده است همسو بود. به‌علاوه، کودهای آلی، فعالیت آنزیم فسفاتاز را در خاک افزایش داده و از طریق فرآیندهای معدنی شـدن و انحلال، موجب فراهمی بیشـتر فســفر در محلول خاک می‌گردند. افزایش فســفر در تیمار کود U-2 نسبت به شاهدکه البته معنی‌دار نبود، ممکن است در اثر تجزیه ماده آلی موجود در خاک و آزاد شدن فسفر بقایا بوده باشد. همچنین این احتمال وجود دارد که تیمار اوره با کاهش پی‌اچ خاک موجب پایدار شدن فسفر آلی در خاک شده باشد. در مطالعه‌ای تاثیر SMS تازه و خشـک بر حذف هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای در خاک کشـاورزی تحت انکوباسـیون ۶۰ روزه بررسـی شـد. نتایج نشـان داد محتوای مواد مغذی خاک با افزودن SMS پس از ۶۰ روز انکوباسیون، در تیمارهای اصـلاح شـده افزایش یافت و افزایش محتوای فسـفر و پتاسـیم موجود در تیمارهای SMS خشـک شـده در هوا بیشـتر از تیمارهای SMS تازه بود (Jordan *et al.*, 2008).

تیمار SMS-2 بیش‌ترین فعالیت آنزیم فسفاتاز ($\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$) (۲۳۹/۸) را دارا بود (جدول ۲). پس از آن، تیمارهای AGM+SMS-2 و AGM-2 قرار داشـتند. کمترین میزان فعالیت آنزیم به تیمار شـاهد ($\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$ ۷۳/۹) تعلق داشـت. به‌علاوه، تیمار شـاهد تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود شـیمیایی (U-1 و U-2) نداشـت. نتایج نشـان داد تیمارهای حاوی بهسـاز آلی از میزان بالاتری فعالیت آنزیم فسـفاتاز قلیایی برخوردار هسـتند (جدول ۲). افزایش دسـترسـی ریزجانداران به مواد غذایی به دنبال افزودن مواد آلی و افزایش ترشـحات ریشـه‌ای دلیلی بر افزایش فعالیت فسـفاتاز اسـت. همچنین مادهٔ آلی محیط بهتری را برای پایداری آنزیم‌های برون سلولی فراهم می‌آورد و از آن ها در مقابل تنش های محیطی حمایت می‌کند. در پژوهشی، اثر دو SMS متفاوت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در حضور یک محصول باغی (*Lactuca sativa* L. var. linus) مطالعه شـد. نتایج نشـان داد فعالیت آنزیم فسـفاتاز در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک شاهد بالاتر بود (Medina *et al.*, 2012). بر اساس نتایج مطالعه حاضر، سطح دوم SMS نسبت به سـطح اول آن در افزایش فعالیت فسـفاتاز مؤثرتر بود که احتمالاً به سبب کربن در دسترس بیش‌تر در سطح دوم SMS است.

## اثر تیمارها بر ویژگی‌های گیاهی

نتایج تجزیه واریانس نشـــان داد عملکرد گیاه و غلظت نیترات،

فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در گیاه اسفناج تحت تاثیر تیمارهای آزمایشـــی قرار گرفت. نتایج مقایســـه میانگین نشـــان داد، تیمار AGM+SMS-2 و تیمار AGM-2 بیشـــترین افزایش را در وزن خشک اســـفناج (به ترتیب ۲۳۵ و ۲۳۰ درصد) نسبت به شاهد ایجاد کرده اســـت (جدول ۳). همچنین این دو تیمار سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج نسبت بـه تیمارهای کودی (U-1 و U-2) شدند. به‌علاوه، اختلاف معنی‌داری بین تیمار SMS-1 با تیمارهای U-1 و U-2 مشـــاهده نشـــد. با این‌حال، تمام تیمارها افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. نتایج نشان می‌دهد، تیمارهای بهسـازهای آلی (هر دو سـطح AGM، سـطح دوم SMS-2 و دو سطح تیمار AGM+SMS) توانسته است نیاز کودی گیاه اسـفناج را برطرف کنند و رشـد گیاه را نسـبت به دو تیمار کودی U-1 و U-2 افزایش دهد. تیمار AGM+SMS-2 بالاترین وزن ریشه را در بین تیمارها نشـان داد. با این‌حال این تیمار از نظر آماری، تفاوت معنی‌داری با تیمارهای SMS-2 و AGM-2 نداشـت. هم‌چنین، تیمار AGM-1 و کود U (هر دو سـطح) تفاوت معنی‌داری با تیمار شـاهد نداشتند. مقایسه میانگین وزن ریشه و وزن اندام هوایی شباهت زیادی با یکدیگر دارند، به طوری که در تیمارهایی که میزان وزن ریشـه افزایش یافته، وزن اندام هوایی نیز افزایش نشـان داده اسـت. در بین تیمارها، تیمارهای حاوی بهسازهای آلی نقش موثری در افزایش وزن ریشه داشتند.

**جدول ۳- مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) عملکرد (گرم بر گلدان) و غلظت برخی عناصر (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه) در اسفناج تحت تاثیر تیمارها آزمایشی**

**Table 3- Mean comparison (± standard error) of yield (g/pot) and concentration of selected elements (mg/kg plant dry weight) in spinach affected by the experimental treatments**

| تیمارها Treatments | وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight | وزن خشک ریشه Root dry weight | فسفر کل Total P | نیترات $NO_3$ | مس Cu | آهن Fe | منگنز Mn | روی Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (g/pot) | | (mg/kgDW) | | | | | |
| Control | 1.38 e (±0.31) | 0.35 c (±0.01) | 714.5 bc (±16.60) | 265.3 c (±7.08) | 6.8 b (±0.49) | 275.6 cd (±5.31) | 17.4 e (±0.05) | 44.8 c (±0.51) |
| SMS-1 | 2.41 cd (±0.22) | 0.67 b (±0.06) | 779.3 bc (±49.66) | 463.2 c (±73.7) | 7.0 b (±1.00) | 351.8 ab (±30.9) | 25.2 c (±0.56) | 60.4 ab (±6.73) |
| SMS-2 | 3.19 b (±0.37) | 0.80 ab (±0.11) | 1071.7 a (±73.20) | 1364.3 c (±242.4) | 7.3 b (±1.95) | 383.9 a (±38.78) | 32.01 a (±1.38) | 71.4 a (±11.17) |
| AGM-1 | 2.70 bc (±0.29) | 0.44 c (±0.02) | 769.4 bc (±27.5) | 4941.2 b (±880.1) | 7.4 b (±0.08) | 349.7 ab (±20.15) | 25.7 c (±0.52) | 50.2 bc (±0.32) |
| AGM-2 | 4.56 a (±0.29) | 0.68 ab (±0.08) | 817.7 b (±18.27) | 4536.5 b (±588.4) | 9.7 a (±0.71) | 384.5 a (±56.22) | 27.1 b (±0.43) | 58.5 b (±7.66) |
| AGM+SMS-1 | 3.06 b (±0.31) | 0.64 b (±0.11) | 905.1 ab (±132.58) | 915.0 c (±121.1) | 6.1 b (±0.20) | 314.6 bc (±3.17) | 17.9 e (±0.82) | 51.4 bc (±6.45) |
| ABM+SMS-2 | 4.62 a (±0.51) | 0.85 a (±0.17) | 1086.4 a (±34.13) | 5835.6 b (±1082.5) | 6.9 b (±0.64) | 313.8 bc (±36.34) | 21.2 d (±0.98) | 53.9 bc (±8.48) |
| U-1 | 2.26 cd (±0.02) | 0.40 c (±0.07) | 605.7 c (±231.1) | 4544.5 b (±1309.1) | 7.76 b (±0.52) | 309.1 bc (±23.22) | 18.3 e (±0.24) | 49.3 bc (±4.62) |
| U-2 | 2.06 d (±0.23) | 0.34 c (±0.04) | 609.4 c (±52.6) | 7806.8 a (±1151.3) | 7.48 b (±0.55) | 228.0 d (±19.51) | 21.4 d (±0.52) | 53.3 bc (±4.87) |

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد. SMS: تیمار پسماند بستر قارچ در دو سطح ۲ و ۵ درصد؛ AGM: تیمار کود سبز یونجه در دو سطح ۱ و ۵ درصد؛ AGM+SMS ترکیب کود سبز یونجه و پسماند بستر قارچ در دو سطح ۱/۵ درصد (۰/۵ درصد کود سبز یونجه و ۱ درصد پسماند بستر قارچ) و ۴ درصد (۱/۵ درصد کود سبز یونجه و ۲/۵ درصد پسماند بستر قارچ)؛ U: تیمار کود شیمیایی اوره در دو سطح ۱۲۰ و ۳۶۰ کیلو گرم در هکتار؛ شاهد

Similar letters in each column are not significantly different at the 1% probability level, using Duncan's Test. SMS: spent mushroom substrates treatment at two levels of 2 and 5%; AGM: alfalfa green manure treatment at two levels of 1 and 5%; AGM+SMS: combination of alfalfa green manure and spent mushroom substrates at two levels of 1.5% (0.5% alfalfa green manure and 1% spent mushroom substrates) and 4% (1.5% alfalfa green manure and 2.5% spent mushroom substrates) U: Urea chemical fertilizer treatment at two levels of 120 and 360 kg/ha; Control: benchmark

تیمار AGM+SMS-2 و SMS-2 بالاترین میزان فسفر گیاه (به ترتیب، ۱۰۸۶ و ۱۰۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در مقایسه با شاهد (۶۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) داشت. کمترین مقدار فسفر به تیمار کود U-2 تعلق داشت. در مقابل، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شاهد، SMS-1 و تیمار AGM-1 وجود نداشت. نتایج نشان می‌دهد تمامی تیمارها، به خصوص تیمارهای حاوی بهسازهای آلی، موجب افزایش فسفر گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند. بهسازهای آلی می‌توانند جذب سطحی فسفر را کاهش داده و در نتیجه دسترسی به فسفر را برای گیاهان افزایش دهند، از طرف دیگر افزایش زیست توده میکروبی خاک به انتقال بهتر فسفر از خاک به گیاه کمک می‌کند (Anjana and Iqbal, 2007). همچنین، از آنجایی که تیمارهای حاوی بهسازهای آلی سبب افزایش رشد ریشه شده‌اند، این نیز خود می‌تواند دلیلی بر افزایش جذب فسفر توسط گیاه باشد. در مطالعه‌ای اثر کود سبز یونجه بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاهان کلزا و ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن کود سبز به خاک سبب افزایش وزن خشک در هر دوگیاه، و افزایش غلظت فسفر در کلزا شد (Heidari *et al*., 2019).

بیشترین مقدار نیترات گیاه در تیمار کود U-2 و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد (۷۸۰۷ در مقابل ۲۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم) (جدول ۳). تیمارهای کود U-1، تیمار AGM (در هر دو سطح) و تیمار AGM+SMS-2 اختلاف معنی‌داری در تجمع نیترات نسبت به یکدیگر نداشتند و همگی بعد از تیمار کود U-2، در بالاترین سطح تجمع نیترات در گیاه، نسبت به شاهد، قرار داشتند. استانداردهای مختلفی برای حد مجاز نیترات در گیاه اسفناج ارائه شده است. اتحادیه اروپا (European Union, 2002) حد مجاز نیترات در اسفناج را ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته است. بنابراین هر دو سطح تیمار SMS و سطح اول تیمار AGM+SMS توانسته‌اند به یک میزان سطح نیترات گیاه را کنترل کنند و از این رو جایگزین‌های مناسبی برای تامین نیاز نیترات گیاه هستند. به‌علاوه، از آن‌جایی‌که در این تیمارها (SMS-1، SMS-2 و AGM+SMS-1)، تجمع نیترات در گیاه به طور معنی‌داری کمتر از تیمار U-1 (سطح توصیه کودی) است، مخاطرات این تیمارها از نظر تاثیر بر سلامتی انسان بسیار کمتر است. با این حال اثراتی که استفاده مداوم و بلندمدت این تیمارها بر تجمع نیترات در گیاه دارد نامعلوم است و لازم است مطالعات تکمیلی در این زمینه صورت گیرد.

مقدار معمول مس در بافت‌های گیاهی ۲۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و در غلظت‌های کم‌تر از ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، گیاه دچار کمبود می‌شود (Jalali, 2013). بیشترین مقدار مس در گیاه در تیمار AGM-2 با میانگین ۹/۸ mg/kg (نسبت به تیمار شاهد با میانگین ۶/۹ mg/kg) تعلق داشت و بین دیگر تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در مطالعه‌ای تاثیر SMS شده شسته شده و همچنین شسته نشده بر جذب عناصر کم مصرف در گیاه مرزه بررسی شد. نتایج نشان داد SMS به خصوص باقیمانده شسته نشده SMS سبب افزایش مس در گیاه شده است (Rahmanian *et al*., 2017). همچنین گلسر (Gülser, 2005) گزارش کرد افزایش کود اوره موجب افزایش محتوای مس در گیاه اسفناج شده است و آن را به کاهش پی‌اچ خاک ناشی از نیتریفیکاسون نسبت دادند.

بیشترین مقدار آهن در گیاه به هر دو سطح تیمارهای SMS و AGM اختصاص دارد، و کمترین آن در تیمار کود U-2 مشاهده شد. دیلون و همکاران (Dhillon *et al*., 1983) کاهش غلظت آهن در برگ اسفناج را بر اثر نیتروژن گزارش کردند. بلک (Black, 1934) عقیده دارد که در سطوح بالای نیتروژن، مقدار اکسین (ایندول استیک اسید) در ریشه زیاد می‌شود، و این هورمون رشد ریشه را کاهش می‌دهد، و در نتیجه جذب عناصر را کم می‌کند. کانسال و همکاران (Kansal *et al*., 1981) نشان دادند که جذب کل آهن در اسفناج تا سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. آنان این افزایش را ناشی از ازدیاد رشد اسفناج می‌دانند. وجود بهسازهای آلی به دلیل اثرات مثبتی که بر ویژگی‌های خاک و پراکنش ریشه و رشد گیاه دارد، می‌تواند بر جذب آهن توسط گیاه اثرگذار باشد. از طرف دیگر، فعالیت‌های میکروبی در هنگام تجزیه بقایای گیاهی سبب افزایش کلات‌های آلی طبیعی در خاک‌های حاوی بقایای گیاهی شده و موجب جذب بیشتر عناصر کم مصرف در گیاه می‌شود (Khamadi *et al*., 2015). مقدار کافی آهن در بافت‌های گیاهی بین ۲۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Jalali, 2013).

بالاترین مقدار عنصر روی در گیاه متعلق به تیمار AGM+SMS-2 بود، و از نظر آماری تفاوت با سطح اول تیمار مذکور نداشت. از طرفی هر دو سطح تیمار AGM موجب افزایش مقدار عنصر روی در گیاه شدند و از نظر آماری با سطح اول تیمار SMS، دو سطح تیمار AGM+SMS و دو سطح کود اوره اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند؛ اما از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد با تیمار شاهد داشتند. لازم به ذکر است بین دو سطح تیمارهای AGM+SMS و کود اوره با شاهد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. حد مجاز روی در سبزیجات ۵۰-۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Jalali, 2013). همچنین ترابیان و مهجوری (Torabian and Mahjouri, 2002) بیان کردند چنانچه غلظت روی بیش از دامنه ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، باعث ایجاد سمیت در سبزیجات خواهد شد. با توجه به جدول ۳، مقدار روی در گیاه در تمام تیمارها بیش از حد مجاز است. با این حال با توجه به دامنه ارائه شده برای سمیت روی توسط ترابیان و مهجوری (Torabian and Mahjouri, 2002)، غلظت این عنصر در حد سمیت نیست. محدحنفی و همکاران (Mohd Hanafi *et al*., 2018) بیان کردند SMS این پتانسیل را دارد که به عنوان یک کود ریزمغذی مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های

حاصل از تحقیقات نشان می‌دهد که نیتروژن می‌تواند قابلیت استفاده عنصر روی را تحت تاثیر قرار دهد. افزایش تشکیل پروتئین بعد از افزودن کود نیتروژن، سبب افزایش تشکیل کمپلکس روی-پروتئین در ریشه‌ها و انتقال آن در گیاه می‌شود. از طرف دیگر، کودهای نیتروژنه می‌توانند منجر به اسیدی شدن محیط اطراف ریشه و افزایش قابلیت استفاده روی گردند.

تیمارها در نتیجه آزمون مقایسه میانگین برای مقدار عنصر منگنز در گیاه به پنج گروه آماری متفاوت تفکیک شدند. میزان منگنز در گیاهان بسته به قابلیت جذب $Mn^{2+}$ متغیر است؛ و دامنه ۲۰۰-۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در بافت گیاه برای اکثر گیاهان مطلوب می‌باشد. بیشترین مقدار منگنز در تیمار AGM+SMS-2، با افزایش ۸۴/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۱۷/۴ mg/kg)، مشاهده شد. پس از آن بالاترین مقدار منگنز در گیاه به تیمار AGM-2 تعلق داشت. می‌توان گفت تمامی تیمارها به غیر از AGM+SMS-1 و U-1 سبب افزایش معنی‌دار این عنصر در گیاه نسبت به شاهد شدند. مورسیا و همکاران (Murcia *et al*., 1995) نشان دادند با کاربرد نیتروژن، جذب کل منگنز در اسفناج به طور معنی‌داری افزایش یافته است. گلدبرگ و همکاران (Goldberg, *et al*. 1983) تاثیر نیتروژن در افزایش غلظت منگنز را به دلیل افزایش منگنز قابل استفاده خاک می‌دانند. همچنین نتایج پژوهشگران (Verma and Pandey, 2013) نشان می‌دهد، افزودن بقایای گیاهی سبب بیشتر شدن کربن آلی خاک شده که این خود موجب جذب بیشتر عناصر ریزمغذی در اندام هوایی می‌شود.

## نتیجه‌گیری

توجه به بهسازهای آلی در کشاورزی به جای وابستگی به نهاده‌های شیمیایی، ضمن بهبود خصوصیات خاک و گیاه، باعث تحقق اهداف کشاورزی پایدار نظیر افزایش خود اتکایی سامانه‌های کشاورزی، جلوگیری از زوال خاک و سلامت محیط زیست و همچنین موجب امنیت غذایی خواهد شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای دارای بهساز آلی (پسماند بستر کشت قارچ، کود سبز یونجه و ترکیب هر دو)، نه تنها مواد آلی خاک را افزایش می‌دهند، بلکه بخاطر اینکه منبع سرشاری از عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ریزمغذی‌ها هستند، این عناصر را در اثر معدنی شدن تدریجی در اختیار گیاه قرار می‌دهند. به دلیل پی‌اچ پایین هر دو بهساز آلی (به‌ویژه پسماند بستر قارچ) نسبت به خاک اولیه، تمامی تیمارهای آلی سبب کاهش اندک پی‌اچ خاک شدند. از این رو، کاربرد مداوم و طولانی مدت این بهسازها می‌تواند در کاهش پی‌اچ خاک‌های قلیایی مؤثر باشد. با این‌حال، هدایت الکتریکی نسبتا بالای این بهسازها، به ویژه پسماند بستر قارچ، یک محدودیت جدی برای استفاده طولانی مدت این مواد است و لازم است پیش‌تیمارهای خاصی، مانند آبشویی، قبل از استفاده از این مواد صورت گیرد. از طرف دیگر، تمام تیمارهای بهسازهای آلی، بجز SMS-1، توانستند نیاز کودی گیاه اسفناج را برطرف کنند و عملکرد گیاه را نسبت به دو تیمار کود اوره افزایش دهند. با این‌حال، تجمع نیترات در اسفناج، تنها در برخی از تیمارهای آلی (SMS-1، SMS-2 و AGM+SMS-1) در حد قابل قبول قرار داشت. در کل، با توجه به اینکه سطوح بالای کود سبز یونجه و تیمار ترکیبی ضمن افزایش عملکرد گیاه و ارتقاء کیفیت خاک، موجب تجمع نیترات در مرز بحرانی، در گیاه اسفناج شده‌اند، و از طرف دیگر استفاده مداوم پسماند بستر قارچ در مقادیر بالا خطر شور شدن خاک را به همراه دارد، مناسب‌ترین تیمار، تیمار ترکیبی AGM+SMS-1، و پس از آن تیمار SMS-1 شناخته شد.

## منابع


1. Anjana, S.U., & Iqbal, M. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. *A Review. Agronomy for Sustainable Development 27*(1): 45-57.
2. Banik, S., & Dey, B. (1982). Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil 69*(3): 353-364.
3. Bora, F.D., Bunea, C.I., Rusu, T., & Pop, N. (2015). Vertical distribution and analysis of micro-, macroelements and heavy metals in the system soil-grapevine-wine in vineyard from North-West Romania. *Chemistry Central Journal 9*(1): 1-13. https://doi.org/10.1186/s13065-015-0095-2.
4. Bower, C.A., Reitemeier, R., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science 73*(4): 251-262. https://doi.org/10.1097/00010694-195204000-00001.
5. Cabilovski, R., Manojlovic, M., Bogdanovic, D., Magazin, N., Keserovic, Z., & Sitaula, B.K. (2014). Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria*× *ananassa* Duch.) production: impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture 101*(1).
6. Dabighi, K., Fateh, E., & Aynehband, A. (2017). The study of nitrogen efficiency indices of canola (*Brassica napus* L.) under different green manure crops and nitrogen sources. *Fleld Crops Research 15*(2): 413-424. (In Persian with English abstract)
7. Deshpande, H.H., & Devasenapathy, P. (2010). Effect of green manuring and organic manures on yield, quality and economics of rice (*Oryza sativa* L.) under lowland condition. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences 23*(2):

235-238. https://doi.org/10.1017/S0021859600082198.
8. Dhillon, K., Yagodeen, B., & Pleshkov, A. (1983). Micronutrients and nitrogen metabolism. *Plant and Soil 73*(3): 355-363.
9. Dobermann, A., Witt, C., Abdulrachman, S., Gines, H., Nagarajan, R., Son, T., Tan, P., Wang, G., Chien, N., & Thoa, V. (2003). Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal 95*(4): 913-923. https://doi.org/10.2134/agronj2003.9130.
10. European Union. (2002). Commission Regulation (EC) No563/2002 of 2 April 2002 amending regulation (EC) No466/2001 setting maximum levels for certain contaminants infoodstuffs. *Official Journa*l 77: 1-13. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/87610dae-c48e-46bf-9413-3b4d633e6f38
11. Food and Agriculture Organisation, 2021. FAOSTAT database. http://www.fao. 2012 Available from
12. Fathi Gerdelidani, A., Mirseyed Hosseini, H., & Farahbakhsh, M. (2016). Effect of spent mushroom compost (SMC) and sugar cane bagasse biochar on availability and fractions of inorganic phosphorus in a calcareous soil. *Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization,(Scientific Journal of Agriculture) 39*(1): 127-144. (In Persian with English abstract)
13. Gee, G., & Bauder, J. (1986). *Particle-size analysis* 1: Soil science society of America: American Society of Agronomy Madison, WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12.
14. Gobbi, V., Nicoletto, C., Zanin, G., & Sambo, P. (2018). Specific humus systems from mushrooms culture. *Applied Soil Ecology* 123: 709-713. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.023Get rights and content.
15. Goldberg, S.P., Smith, K.A., & Holmes, J.C. (1983). The effects of soil compaction, form of nitrogen fertiliser, and fertiliser placement on the availability of manganese to barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture 34*(7): 657-670. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740340702.
16. Gülser, F. (2005). Effects of ammonium sulphate and urea on $NO_3^-$ and $NO_2^-$ accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. *Scientia Horticulturae 106*(3): 330-340.
17. Heidari, N., Alizadeh, Y., & Alizadeh, H. (2019). Investigating the Interaction of salinity, drought and nitrogen fertilizer stresses on some physiological traits, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences 12*(3): 889-905. (In Persian with English abstract)
18. Helmke, P.A., & Sparks, D.L. (1996). *Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium*. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods 5: 551-574.
19. Iyamuremye, F., Dick, R., & Baham, J. (1996). Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Science 161*(7): 426-435.
20. Jalali, M. (2011). Comparison of potassium release of organic residues in five calcareous soils of western Iran in laboratory incubation test. *Arid Land Research and Management 25*(2): 101-115.
21. Jalali, M. (2013). *Soil Fertility*. Bu Ali Sina University Publishing Center.
22. Jaworska, G. (2005). Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chemistry 89*(2): 235-242.
23. Jordan, S.N., Mullen, G.J., & Murphy, M. (2008). Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology 99*(2): 411-418.
24. Kansal, B., Singh, B., Bajaj, K., & Kaur, G. (1981). Effect of different levels of nitrogen and farmyard manure on yield and quality of spinach (*Spinacea oleracea* L.). *Plant Foods for Human Nutrition 31*(2): 163-170. https://doi.org/10.15159/jas.21.21.
25. Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., & Enayatzamir, N. (2015). Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. *Applied Field Crops Research 28*(4): 158-166. (In Persian with English abstract)
26. Lee, C.H., Do Park, K., Jung, K.Y., Ali, M.A., Lee, D., Gutierrez, J., & Kim, P.J. (2010). Effect of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) as a green manure on rice productivity and methane emission in paddy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment 138*(3-4):343-347. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.05.011.
27. Li, F., Kong, Q., Zhang, Q., Wang, H., Wang, L., & Luo, T. (2020). Spent mushroom substrates affect soil humus composition, microbial biomass and functional diversity in paddy fields. *Applied Soil Ecology* 149: 103489. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103489.
28. Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., & Li, H. (2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology* 42(2): 166-175. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006.
29. Matos, E.D.S., Mendonça, E.D.S., Lima, P.C.D., Coelho, M.S., Mateus, R.F., & Cardoso, I.M. (2008). Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2027-2035.
30. Medina, E., Paredes, C., Bustamante, M., Moral, R., & Moreno-Caselles, J. (2012). Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* 173: 152-161. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.12.011.

31. Mohammadi, G., Safari-Poor, M., Eghbal Ghobadi, M., & Najaphy, A. (2015). The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25*(2): 105-124.
32. Mohd Hanafi, F.H., Rezania, S., Mat Taib, S., Md Din, M.F., Yamauchi, M., Sakamoto, M., Hara, H., Park, J., & Ebrahimi, S.S. (2018). Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management 20*(3): 1383-1396. https://doi.org/10.1007/s10163-018-0739-0.
33. Murcia, M., Vera, A., Ortiz, R., & Garcia-Carmona, F. (1995). Measurement of ion levels of spinach grown in different fertilizer regimes using ion chromatography. *Food Chemistry 52*(2): 161-166. https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)P4198-O.
34. Olsen, S.R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*: US Department of Agriculture.
35. Rahmanian, M., Esmaielpour, B., Hadian, J., & ShahriariI, M.H. (2017). Effect of vermicompost and spent mushroom compost on growth and micronutrients content in Summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology 7*(2): 61-77. (In Persian with English abstract)
36. Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., & Astover, A. (2009). The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. *Agronomy Research 7*(1): 125-132.
37. Thomas, G.W. (1996). *Soil pH and soil acidity. Methods of soil analysis:* Part 3 chemical methods 5: 475-490. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16.
38. Torabian, A., & Mahjouri, M. (2002). Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with waste water in south Tehran. *Journal of Environmental Study 16*(2). (In Persian). https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100475.
39. Vahabi, F., Mirseyed Hosseini, H., & Shorafa, M. (2011). Effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of a sandy loam soil and leachate. *Soil Research 25*(1): 49-60. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.5194/se-8-1153-2017.
40. Vahabi, M.F., Mirseyed, H.H., Shorafa, M., & Hatami, S. (2008). Investigation of the effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of soil and leachate. *Journal of Water and Soil 22*(2): 394-406. (In Persian with English abstract).
41. Verma, N.K., & Pandey, B.K. (2013). Effect of varying rice residue management practices on growth and yield of wheat and soil organic carbon in rice-wheat sequence. *Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary Sciences 13*(3): 32-38. https://doi.org/10.5958/0976-4038.2016.00090.7.
42. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science 37*(1): 29-38. https://doi.org/10.1080/00103629209368599.
43. Wang, J., Zhou, Y., Zhou, C., Shen, Q., & Putheti, R. (2009). Effects of $NH_4^+$-N/$NO_3$--N ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *African Journal of Biotechnology 8*(15). https://doi.org/10.1017/S0014479714000192.
44. Ysart, G., Clifford, R., & Harrison, N. (1999). Monitoring for nitrate in UK-grown lettuce and spinach. *Food Additives & Contaminants 16*(7): 301-306. https://doi.org/10.1080/026520399283966.
45. Zanella, A., Ponge, J.F., Guercini, S., Rumor, C., Nold, F., Sambo, P., Gobbi, V., Schimmer, C., Chaabane, C., & Mouchard, M.L. (2018). Humusica 2, article 16: Techno humus systems and recycling of waste. *Applied Soil Ecology* 122: 220-236. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.037.
46. Zhong, W., & Cai, Z. (2007). Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. *Applied Soil Ecology 36*(2-3): 84-91. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.12.001.